Case no. 40-(Ⅲ)

原因：劣化／設計不良／想定外(使用)

暖房機器

事故の真相が明らかに 熱影響でホースの劣化促進

松下電器産業製石油温風機による一連の一酸化炭素中毒事故の原因は当初，完全燃焼させるための空気を流す「2次エアホース」の亀裂にあると推定された。果たして，それだけで人の命を奪うほどの大量の一酸化炭素が発生するものだろうか。緊急命令から7カ月余り，事故の真相がついに明らかになった。

キーワード｜事故のメカニズム｜材料の使い方｜使用条件の重畳｜再発防止｜

経済産業省が「緊急命令」を発動する事態にまで発展した，松下電器産業製石油温風機にかかわる一連の事故はすべて，強制給排気(FF)式と呼ぶタイプで発生した(**図1**)[1)]。JIS S 3030「石油燃焼機器の構造通則」によれば，問題のFF式は「給排気筒を外気に接する壁などを貫通して屋外に出し，送風機によって給排気筒を通して強制的に給排気を行う方式」。構造は各社各様だが，同社のFF式石油温風機の場合には，給気系は途中から，混合気用の空気が通る「1次エアホース」と，完全燃焼させるための空気が流れる「2次エアホース」に分かれていた(**図2**)。

図1●松下電器産業のFF式石油温風機「OK-3537」
25機種15万2132台が回収および点検/改修の対象となった。2006年6月30日時点における所有者把握数は67.4％に当たる10万2499台。

2005年に発覚した4件の事故にはFF式に加えて，二つの共通点がある(**表1**)*1。石油温風機の2次エアホースに最大幅約5～30mmの開口部を持つ孔が生じていたことと，給排気筒，燃焼用送風機，熱交換器のどれかに異常が認められたことだ。

例えば，1人が死亡，1人が重体となった，2005年11月21日の長野県上田市の事故では，2次エアホースの送風機側湾曲部の外側に開口部約12×深さ約13mmのV字形の孔が存在した(**図3**)。加えて，熱交換器には不完全燃焼により発生したすすが一部を閉塞するほど付着しており，給排気筒にはつぶれによる変形やハチの巣が見られた。

製品評価技術基盤機構(NITE)は，こうした二つの共通点に着目し，同社から資材をはじめ事故発生状況に関する情報などの提供を受けて，事故の真相解明に迫った[2)]。

危険な2次エアホースの孔

具体的には，NITEはエアホース，給排気筒，送風機，熱交換器の各異常を単独で検証する「異常付与テスト」と，二つの異常の組み合わせによる影響を確認する「複合異常テスト」を実施している*2。

まず，4件の事故すべてに共通するのが，2次エアホースの異常だ。実験では，エアホースの送風機側と燃焼室側湾曲部それぞれに孔を開け，その大きさを0～20mmの範囲で変えながら一酸化炭素濃度や温度などを測定した(**表2**)。

その結果，一酸化炭素濃度は，送風機側，燃焼室側を問わず，孔の大きさが20mmになると急激に増え，特に2次エアホース内では9510ppm以上と，測定器の検出限界を超えた(**図4**)。

温度については，2次エアホースの5カ所で測定したところ，孔の大きさ

がやはり20mmに達すると燃焼室側の2カ所で急上昇した。とりわけ燃焼室に最も近い測定個所では266.3℃と，NBR（アクリロニトリル・ブタジエンゴム）製エアホースの劣化を促進させる領域に突入していた。

一方，2005年2月23日の長野県茅野市の事故や同年4月13日の長野県長野市の事故に共通する送風機の異常については，回転数が2000rpm以下になると燃焼が続かずに機器が停止することが分かった。例えば長野市で起きた事故では，送風機の回転数を制御するサーミスタが半断線状態になっていたが，その場合には回転数が2000rpmを下回る1880rpmまで落ちるという（**表1**）。なお，燃焼が継続する最少回転数は2100rpmだった。

残る給排気筒と熱交換器の異常に関しては，それぞれが単独で起きたときには一酸化炭素濃度にしろ温度にしろ顕著な上昇は認められなかった。だからといって，この二つの異常は無視できる，ということにはならない。実際の事故では複数の異常が同時に発生し，異常同士の相乗効果が疑われるからだ。複合異常テストは，それを検証する。

CO濃度上昇の促進要因

その複合異常テストでは実際の事故を考慮し，2次エアホースの異常と他の異常の組み合わせを中心とした。

まず，2次エアホース異常と給排気筒異常の組み合わせ（**表2**）。2次エアホース異常単独の場合，一酸化炭素濃度が上昇する孔の大きさは20mmだったが，給排気筒異常と組み合わせた場合には，それより小さくなった。例えば，給排気筒異常を排気筒閉塞率50％としたとき，一酸化炭素濃度が顕著に上昇する燃焼室側の孔は10mmだった＊3。このことは，すすによる閉塞など給排気筒異常は，一酸化炭素濃度を増加させる作用があることを物語る。

次は，2次エアホース異常と送風機

図2●FF式石油温風機の構造
給気系の2次エアホースの亀裂と他の異常が併発した。

事故の発生日と場所	孔の状態	他の異常
2005年1月5日，福島県南会津郡伊南村	送風機側湾曲部に開口部約8×長さ約30mmの孔	給排気筒に防虫網，熱交換器の一部に不完全燃焼で発生したすすによる閉塞
2005年2月23日，長野県茅野市	送風機側湾曲部に開口部約5×深さ約13mmのV字形孔	給排気筒の異常，送風機の異常，熱交換器の一部に不完全燃焼で発生したすすによる閉塞
2005年4月13日，長野県長野市	送風機側湾曲部に開口部約10×深さ約10mmのV字形孔	熱交換器の一部に不完全燃焼で発生したすすによる閉塞，送風機を制御するサーミスタの半断線
2005年11月21日，長野県上田市	送風機側湾曲部に開口部約12×深さ約13mmのV字形孔。さらにこの孔より燃焼室側方向に幅約2×長さ約25mmの亀裂	熱交換器の一部に不完全燃焼で発生したすすによる閉塞，給排気筒のつぶれ，その接続部にハチの巣

表1●2005年に起きた4件の事故の特徴
4件の事故に共通するのは，石油温風機の2次エアホースに開口部が最大幅約5〜30mmの孔が存在したことと，給排気筒，送風機，熱交換器のどれかに異常が認められたことの2点。

図3●長野県上田市で事故を起こした石油温風機の2次エアホース
開口部約12×深さ約13mmのV字形の孔が見つかり，ホースは辛うじてつながった状態だった。さらに，このV字形の孔から燃焼室側に向かって幅約2×長さ約25mmの亀裂が走っていた。

異常の組み合わせ（**表2**）。送風機の回転数を燃焼が継続するギリギリの2100rpmとし，一酸化炭素濃度と圧力を測定した。その結果，2次エアホースの孔の大きさが10mm以下の場合，一酸化炭素濃度も圧力も送風機に異常のないときと同じ傾向を示したが，20mm以上の場合には，一酸化炭素濃度は特に温風吹き出し口で送風機に異常のないときより100ppmほど上昇し，圧力は燃焼室内と2次エアホース内で共に1mmH_2Oと平衡状態になった（**図5**）。送風機異常は，一酸化炭素濃度の上昇と燃焼排ガスの逆流を促すようだ。

最後は，2次エアホース異常と熱交換器異常の組み合わせ（**表2**）。熱交換器の閉塞率を50％とすると，一酸化炭素濃度が増加する2次エアホースの孔の大きさは10mmからとなった。熱交換器に異常のないときにはそれは20mmだったから，熱交換器異常が組み合わさると，より小さな孔で深刻な事態に発展することが分かる。その深刻さは「一酸化炭素濃度の上昇は2次エアホース単独異常のときよりはるかに大きくなったため，実験実施者の安全を考慮し実験を途中で打ち切った」（NITE）ほどだ。

（mm）

燃焼室側孔直径 ＼ 送風機側孔直径	0	5	10	20
0	air1	air2	air3	air10
10	air4	air5	air6	—
20	air7	air8	air9	

表2●2次エアホースの異常条件の組み合わせ
送風機側と燃焼室側それぞれに数種類の大きさの孔を開けて組み合わせた。送風機側には直径0，5，10，20mm，燃焼室側湾曲部には同0，10，20mmの孔を開けた。例えば，air1はどちらにも孔が開いていない正常なケース，air9は燃焼室側に直径20mmの，送風機側に同10mmの孔をそれぞれ開けたケース。なお，孔を開けた位置は図4（a）を参照。

（a）

燃焼室側孔

送風機側孔

（b）

図4●2次エアホースに孔が開いた場合の一酸化炭素（CO）濃度と圧力
（a）2次エアホースの孔を開けた位置。（b）CO濃度と圧力。送風機側あるいは燃焼室側のどちらかに20mm以上の孔が開いているair7～10で，CO濃度が急激に上昇した。なお，横軸のair1～10は表2を参照。

大気中で劣化するNBR

結局，複合異常テストでは給排気筒や送風機，熱交換器の異常が一酸化炭素濃度の増加や燃焼排ガスの逆流を促進することが明らかになったが，事故の主因が2次エアホースの孔にあることは疑いようのない事実である。その材料はNBRで，亀裂の発生部位は送風機側，燃焼室側の両接合部を除くと，2カ所の湾曲部，すなわち取り付け時の応力が残留しやすい部分に集中していた。

実は，NBRという材料は，空気中のオゾンなどの酸化物質による酸化を受けて劣化しやすい。事実，顕微鏡FT-IR（フーリエ変換赤外分光光度計）で件の2次エアホースを分析すると，ブダジエンの二重結合がオゾンなどにより酸化され切れたことを示すOH基が，表層を中心に増加していた。そして，こうした酸化による劣化は温度が高いほど，残留応力が大きいほど進行しやすいのである。

ホースの亀裂が進展し孔に

以上の分析結果を基に，NITEは，事故の発生メカニズムを以下のように推定した。

1次エアホースと燃焼室をつなぐ2次エアホースの形状はS字形で，取り付け時のねじりなどによる応力が特に湾曲部のホース表面に残留した。さらに，この2次エアホースがNBR製だったために，応力が残留する湾曲部の表層を中心に大気雰囲気中のオゾンによる酸化を受ける。そしてこの劣化現象は，2次エアホースが燃焼筒下部に位置していたことから燃焼時の熱の影響を受けて促進され，亀裂が生じた〔**図6（a）**〕。

こうなると，燃焼室に送られる2次空気が減少するため，不完全燃焼により一酸化炭素濃度が徐々に上昇し始める〔**図6(b)**〕。その間にも，亀裂は外側，さらには内側から進展し孔へと成長。それが一定の大きさになると，2次エアホース内の送風圧力が低下し，燃焼室から完全燃焼していない燃焼排ガスが逆流して，さらに孔から漏洩し始めたのである。

2次エアホースの孔と併発した，給排気筒や送風機，熱交換器の異常は，こうした一酸化炭素濃度の上昇や燃焼排ガスの逆流を促進する結果となった〔**図6(c)**〕。

図5●2次エアホースに孔が開くと同時に，送風機異常が発生したときの一酸化炭素（CO）濃度と圧力
air7以降，特に温風吹き出し口におけるCO濃度が2次エアホース単独異常のときより約100ppm上昇した。さらに圧力も，air7の条件から燃焼室内と2次エアホース内が共に1mmH_2Oと平衡状態になった。なお，横軸のair1～10は表2を参照。

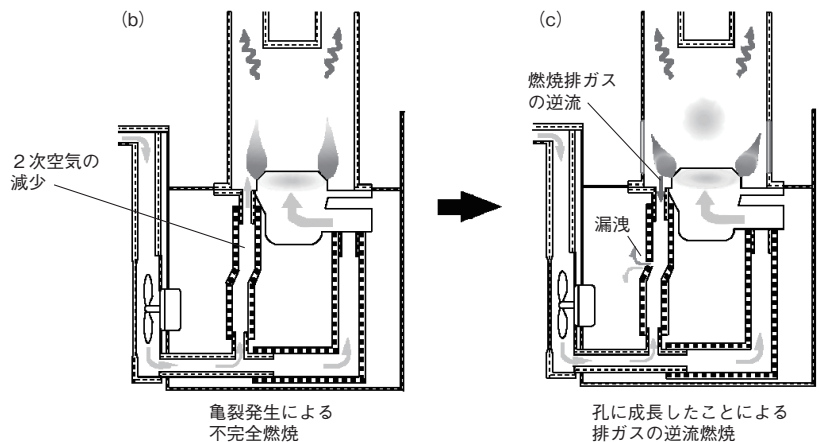
NBR製ホースは当該機種のみ

NITEでは，1972年以降に製造された松下電器産業を除く16社1901機種のFF式石油温風機についても，給気エアホースの構造や材質などを調査した。その結果，構造も材料も，事故を起こした石油温風機と同じ機種はなかった。こうした事実にかんがみ，NITEは同社製石油温風機の三つの問題点を指摘した。

第一は，2次エアホースに，大気雰囲気中のオゾンなどにより酸化/劣化を受けやすいNBRを採用していた点。第二は，その2次エアホースに，設置位置の関係から取り付け時の応力が残留していた点。そして第三が，長期にわたる使用中に，給排気筒，送風機，熱交換器において異常を併発した点である。この三つの要因が折り重なったことにより，不幸な一酸化炭素中毒事故が相次ぎ起きてしまい，2人が帰らぬ人となった。

NITEはさらに，①既に販売されたFF式石油温風機②石油温風機の点

図6●事故の発生メカニズム
(a)2次エアホースはS字形に湾曲して取り付けるため，応力が残留する。しかも燃焼筒下部に位置することから，燃焼時の熱の影響を受ける。これにより，オゾンにより酸化し劣化した2次エアホースには亀裂が生じ成長。(b)すると，燃焼室に送られる2次空気が減少し，不完全燃焼で一酸化炭素濃度が徐々に上昇する。(c)2次エアホースの亀裂が一定の大きさの孔になると，2次エアホース内の送風圧力が低下し，燃焼室から完全燃焼していない燃焼排ガスが逆流し，さらに孔から漏洩し始める。

劣化

検の必要性と情報提供の在り方③今後販売するFF式石油温風機――に関し，再発防止策に言及している。

①の既に販売されたFF式石油温風機については，エアホースや安全装置の点検を検討する。

②の石油温風機の点検の必要性と情報提供の在り方に関しては，使用者が定期的な点検/整備の必要性を認識すると同時に，製造事業者や販売事業者が適切な点検時期など点検にかかわる情報を提供する。石油温風機の設置/移設作業においては，日本石油燃焼機器保守協会の技術講習会を修了した専門技術者などが対応していく。

そして，③の今後販売するFF式石油温風機にかかわる再発防止策は，製造事業者，とりわけ設計者が耳を傾ける内容となっている。具体的には，2次エアホースに亀裂などの異常が生じ，燃焼ガスが漏洩する恐れがある機器については，燃焼ガスが漏洩した際に機器が停止するための安全装置を設ける。事故につながるようなエアホースの劣化が懸念される際には，オゾンなどの酸化物質による経年劣化が起きにくい材料を使う。併せて，ねじりなどによる残留応力が生じない構造とする。

一方，経済産業省はエアホースの構造や材質などにかかわる基準や，取扱説明書や本体表示ラベルの記述内容などに関連する基準を今後見直していく方針だ。

（日経ものづくり　荻原博之）

＊1 2005年1月5日の福島県南会津郡伊南村の事故はペンションで発生。1人が死亡，1人が重体。同年2月23日の長野県茅野市の事故は個人宅で起き，2人が一酸化炭素中毒に。うち1人が入院。同年4月13日の長野県長野市の事故は美容院で発生し，3人が一酸化炭素中毒に。うち2人が入院。同年11月21日の長野県上田市の事故は個人宅で起き，1人が死亡，1人が重体。

＊2 NITEはまず「品質性能テスト」を実施し，松下電器産業が回収した5台の石油温風機「OK2-3527」の中から「異常付与テスト」「複合異常テスト」に使う石油温風機を決定した。そして両テストの後，「2次エアホースの劣化要因分析」を実施している。「品質性能テスト」「異常付与テスト」「複合異常テスト」は日本燃焼機器検査協会の，「2次エアホースの劣化要因分析」は化学物質評価研究機構高分子技術センターの協力を得た。

＊3 給排気筒異常は，給排気筒の先端排気部をアルミテープでふさぎ，給排気筒中央部の排気部に位置する排気筒に孔を開け，燃焼排ガスの再給気を促す異常で，「排気筒閉塞率」と「再給気孔面積率」の組み合わせで評価した。排気筒閉塞率は，給排気筒先端部の排気の総面積に対する割合。再給気孔面積率とは，排気筒断面積に対する割合。いずれも「0%」は正常なケースで，排気筒閉塞率は0，10，30，50%の4種類を，再給気孔面積率は0，10，30，40%の4種類を想定。給排気筒異常としては4×4＝16ケースを考慮した。加えて，2005年1月5日に福島県伊南村で起きた事故に基づき，給排気筒全体を防虫網で覆うケースも想定した。

《参考文献》

1）高野ほか，「一酸化炭素中毒事故多発で松下電器産業に『緊急命令』」，『日経ものづくり』2006年1月号，pp. 93-99.
2）製品評価技術基盤機構，『石油温風暖房機事故の原因究明等に関する調査報告書』，2006年5月.